

DESAIN PROTOTIPE GENERATOR LINIER MAGNET PERMANEN RPM RENDAH



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Jurusan
Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

SEPTIAN HERI PRASETYO

D 400 120 077

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN

**DESAIN PROTOTIPE GENERATOR LINIER MAGNET PERMANEN
RPM RENDAH**

NASKAH PUBLIKASI

oleh:

SEPTIAN HERI PRASETYO

D 400 120 077

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized initials and a surname, positioned above the printed name of the supervisor.

Hasyim Asy'ari S.T.,M.T

HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN PROTOTIPE GENERATOR LINIER MAGNET PERMANEN
RPM RENDAH**

OLEH

SEPTIAN HERI PRASETYO

D 400 120 077

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari 17, Juni 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Hasyim Asy'ari S.T.,M.T

(.....)

(Ketua Dewan Penguji)

2. Agus Supardi S.T.,M.T

(.....)

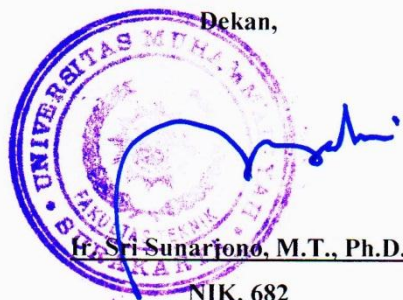
(Anggota I Dewan Penguji)

3. Umar S.T.,M.T

(.....)

(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682


PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 13 Juni 2016

Penulis



SEPTIAN HERI PRASETYO

D 400 120 077

DESAIN PROTOTIPE GENERATOR LINIER MAGNET PERMANEN RPM RENDAH

Abstrak

Indonesia merupakan Negara maritime yang memiliki kawasan lautan luas. Kondisi laut Indonesia yang memiliki ombak tinggi dapat menjadi salah satu sumber energi terbarukan, yaitu dengan memanfaatkan ombak di perairan Indonesia. Pergerakan gelombang laut yang naik turun dapat digunakan sebagai penggerak generator linier untuk sumber energi listrik di daerah pesisir Indonesia dengan tingkat ukuran dan frekuensi ombak laut yang tinggi. Hal ini tentu akan menjadi salah satu terobosan baru untuk mengatasi kurang terpenuhinya kebutuhan listrik di sebagian wilayah Indonesia. Penelitian ini akan membahas perancangan prototipe generator linier dan menganalisa pengaruh belitan terhadap keluaran generator linier tersebut. Generator linier ini menggunakan rotor dengan menggunakan magnet permanen jenis ferit 5 pasang dan frame stator 6 slot dengan jumlah belitan 200, 300, 400 dan 500 belitan. Generator linier mampu menghasilkan tegangan paling rendah 2,1v pada kecepatan 100 rpm dan tegangan paling tinggi 8,1v pada jumlah belitan 500 dengan kecepatan 300 rpm. Daya yang mampu dibangkitkan generator ini mencapai 135,7 mW pada jumlah belitan 500 dengan kecepatan 300 rpm. Data yang didapat dari percobaan yang dilakukan dengan skala lab ini tentu dapat dikembangkan untuk skala yang lebih besar dengan dapat memvariasikan jenis magnet yang digunakan, jumlah belitan, hingga kecepatan yang digunakan untuk menghasilkan daya yang lebih besar.

Kata Kunci: generator linier, magnet permanen, terbarukan, energi gelombang laut

Abstract

Indonesia is a maritime country that has a vast sea area. Indonesia sea conditions that has high waves can be one source of renewable energy by utilizing the ocean waves. The movement of ocean waves can be used as a driver of a linear generator for electric energy sources in coastal areas of Indonesia with the huge size and high frequency of ocean waves. This is certainly will be one of the new ways to overcome the lack of fulfillment of the electricity demand in Indonesia. This study is going to discuss the design of a prototype linear generator and analyze the effect of windings to output of the linear generator. This linear generator using a rotor with 5 pairs of ferrite permanent magnet type and 6 slot with the stator frame with amount of 200, 300, 400 and 500 windings. Linear generator able to produce the voltage at ranges as the lowest with 2.1 v in 200 windings and 100 rpm conditions and 8,1 v as the highest voltage at 500 windings and 300 rpm conditions. This generator is able to generate power up to 135.7 mW at 500 windings and 300 rpm. The data obtained from these experiments with lab scale could developed to a larger scale by varying the type of magnet used, number of windings, and speed used to generate larger power.

Keywords: linier generator, permanent magnet, renewable, waves energy

1. PENDAHULUAN

Permasalahan energi dihadapi oleh semua negara di semua belahan dunia. Baik negara berkembang maupun negara maju. Sebagian besar dari negara-negara tersebut masih mengandalkan sumber energi dari bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam sebagai sumber bahan bakar kebutuhan energinya. Permasalahannya adalah bahan bakar jika digunakan secara terus menerus sangat rawan habis. Hal ini disebabkan karena bahan bakar fosil terbentuk melalui proses yang sangat lama, dapat memakan waktu hingga jutaan tahun sehingga tidak dapat langsung diperbaharui. Jumlah bahan bakar fosil sangat mempengaruhi jumlah pasokan sumber energi. Berkurangnya bahan bakar fosil tentu akan mempengaruhi stok sumber energi yang mengakibatkan pasokan sumber energi kepada pengguna tidak terpenuhi. Sebagai contoh adalah pasokan batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap. Apabila jumlah pasokan batubara berkurang tentu akan mempengaruhi daya yang dibangkitkan oleh pembangkit sehingga kebutuhan listrik pelanggan tidak terpenuhi. Permasalahan lain yang harus dihadapi karena penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus adalah menipisnya cadangan minyak bumi dan polusi udara dari pembakaran bahan bakar fosil. Untuk itu maka diperlukan lebih banyak penelitian tentang sumber energi terbarukan yang mampu memenuhi kebutuhan dan ramah lingkungan.

Banyak teknologi baru ditemukan dengan waktu yang menyebabkan perubahan drastis dalam persepsi energi listrik. Tetapi pada saat yang sama ada kesalahpahaman dari free energy. Tidak ada hal seperti Free Energy. Setiap tenaga listrik dari sel surya, angin, panas bumi, dan PLTA hanya gratis setelah menghasilkan tenaga listrik dengan menyediakan beberapa biaya modal. Energi menjadi bebas setelah beberapa titik karena kita tidak perlu membayar biaya untuk tenaga listrik yang dihasilkan. (Himank Pratap Singh, 2015)

Listrik merupakan salah satu energi yang saat ini menjadi kebutuhan pokok bagi hampir semua manusia. Listrik menjadi salah satu energi vital dan menjadi penopang hampir semua kegiatan ekonomi dan aktifitas manusia. Proses industri, transportasi, sampai kebutuhan sehari-hari manusia hampir tidak pernah lepas dari tenaga listrik. Untuk memenuhi kebutuhan manusia akan listrik telah banyak dibangun sistem pembangkit listrik di Indonesia. Saat ini, pemerintah telah berkomitmen untuk merealisasikan penyediaan listrik sebesar 35 ribu Megawatt (MW) dalam jangka waktu 5 tahun (2014-2019). Sepanjang 5 tahun ke depan, pemerintah bersama PLN dan swasta akan membangun 109 pembangkit; masing-masing terdiri 35 proyek oleh PLN dengan total kapasitas 10.681 MW dan 74 proyek oleh swasta/Independent Power Producer (IPP) dengan total kapasitas 25.904 MW. Dan pada tahun 2015 PLN akan menandatangani kontrak pembangkit sebesar 10 ribu MW sebagai tahap I dari total keseluruhan 35 ribu MW.

Saat ini masih banyak daerah di Indonesia yang belum terpenuhi kebutuhan listriknya. Sebagian daerah sudah mendapatkan listrik namun belum optimal, dan sebagian lainnya belum mendapatkan listrik sama sekali. Terutama desa-desa yang terletak pada pulau-pulau terpencil. Hal ini disebabkan karena wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau yang mengakibatkan sulitnya pemerataan listrik. Selain itu, pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk Indonesia yang terus meningkat juga menyebabkan jumlah energi listrik yang dibutuhkan akan meningkat. Salah satu upaya yang harus dilakukan untuk mengatasi tidak terpenuhinya kebutuhan listrik adalah dengan pembangunan pembangkit listrik di setiap daerah, terutama di daerah terpencil. Berbagai survei dan penelitian telah banyak dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Salah satu hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah menemukan gelombang laut yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk membangkitkan listrik dengan generator linier. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki kawasan lautan yang luas. Beberapa kawasan laut di Indonesia juga memiliki ombak yang tinggi dan arus laut yang deras. Kondisi ini cocok untuk pembangunan sebuah sistem pembangkit listrik tenaga gelombang laut, salah satunya dengan menggunakan generator linier magnet permanen. Gelombang laut dapat dimanfaatkan dengan mengkonversi gerakan gelombang yang naik turun menjadi gerakan linier sebagai penggerak generator. Dengan sumber gelombang laut, tentunya didapat sumber pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak memerlukan bahan bakar minyak bumi untuk mengoperasikan generator.

Penelitian dan pengembangan pembangkit listrik energi listrik energi terbarukan saat ini telah banyak dilakukan. Salah satu energi terbarukan yang menjadi perhatian utama adalah energi gelombang. Sejak 1970an berbagai desain dan alat dengan prinsip kerja yang berbeda telah banyak diajukan, namun hanya sedikit yang berhasil dikembangkan dan berhasil diuji. Saat ini linear generator menjadi sorotan utama sebagai pembangkit listrik energi terbarukan yang memanfaatkan gelombang. Linear generator atau generator gerakan linear adalah sebuah mesin listrik yang dapat menghasilkan energi listrik dengan cara mengkonversinya dari gerakan linear (John Bard, 2013).

Generator linier saat ini masih jarang digunakan. Konversi bentuk energi mekanik menjadi energi listrik, sebagian besar menggunakan gerakan berputar. Generator pada pembangkit listrik konvensional (batubara, minyak gas, nuklir), pembangkit listrik tenaga air, turbin angin, kendaraan, semua menggunakan generator berputar. Sebagian besar, sistem ini memiliki tingkat daya rendah. Generator linier dalam konverter energi gelombang laut karakteristiknya berdaya tinggi (tergantung pada ukuran konverter energi gelombang) dan kecepatan rendah. Hal ini tentu menjadi salah satu hal yang patut untuk diteliti sebagai salah satu upaya menciptakan penemuan baru sumber energi terbarukan. (H. Polinder, 2007)

Generator induksi memang lebih populer dibandingkan generator magnet permanen. Hal ini dikarenakan beberapa keuntungan dalam penggunaan generator induksi seperti kekasaran, tanpa komutator (dalam konstruksi kandang tupai), tidak adanya sumber DC terpisah, perawatan mudah, pertahanan terhadap overload dan hubung singkat, tidak memerlukan kontrol frekuensi dan investasi awal dan perawatan rendah. Namun, generator induksi memiliki kelemahan terhadap regulasi tegangan dan karena membutuhkan arus magnetisasi sebagai eksitasi. Faktor daya, tegangan regulasi dan efisiensi menghasilkan energi listrik dapat ditingkatkan dengan menggunakan magnet permanen. (Phawan Sharma, 2011)

Generator adalah salah satu mesin listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip kerja generator menggunakan prinsip percobaannya Faraday, yaitu menggerakkan magnet dalam kumparan atau sebaliknya, ketika magnet digerakkan dalam kumparan maka terjadi perubahan fluks gaya magnet (perubahan arah penyebaran medan magnet) di dalam kumparan dan menembus tegak lurus terhadap kumparan sehingga menyebabkan beda potensial antara ujung-ujung kumparan. Tegangan induksi generator dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$E_{rms} = 4,44xNxfx\Phi_{max}x\frac{N_s}{N_{ph}} \quad (1)$$

dimana:

E_{rms} : Tegangan efektif induksi generator (V)

N : jumlah lilitan

f : frekuensi (Hz)

Φ_{max} : fluks maksimum (Wb)

N_s : jumlah kumparan

N_{ph} : jumlah fasa

Frekuensi ditentukan dengan persamaan berikut:

$$f = \frac{N_r \times P}{120} \quad (2)$$

dimana:

f : frekuensi (Hz)

N_r : Kecepatan rotor (rpm)

P : Jumlah kutub

Magnet permanen digunakan untuk menghasilkan fluks magnet. Fluks maksimum magnet (Φ_{max}) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\Phi_{max} = A_{magn} \times B_{max} \quad (3)$$

dengan :

$$A_{magn} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - \tau_f(ro - ri)Nm}{Nm} \quad (4)$$

dan

$$B_{max} = Br \times \frac{lm}{lm + \delta} \quad (5)$$

dimana:

A_{magn} : luasan medan magnet(m²)

B_{max} : kerapatan fluks magnet maksimum (T)

ro : radius luar magnet (m)

ri : radius dalam magnet (m)

Nm : Jumlah magnet

τ_f : jarak antar magnet (m)

Br : kerapatan fluks magnet (T)

lm : tinggi magnet (m)

δ : lebar celah udara (m)

Tugas akhir ini akan merancang sebuah generator magnet permanen dengan desain generator bertipe linier 1 fasa dengan menggunakan 5 pasang magnet permanen jenis ferit dengan kerapatan fluks magnet 0,1 T berdimensi 2x6x1 cm dan akan menganalisa perbandingan jumlah belitan pada stator untuk mengetahui pengaruh jumlah belitan pada stator terhadap keluaran generator linier. Hasil penelitian yang didapatkan dengan skala lab dapat digunakan untuk penelitian lanjutan dengan skala yang lebih besar sehingga apabila penelitian berhasil diharapkan dapat menjadi salah satu solusi masalah kurang terpenuhinya kebutuhan manusia akan energi listrik.

2. METODE

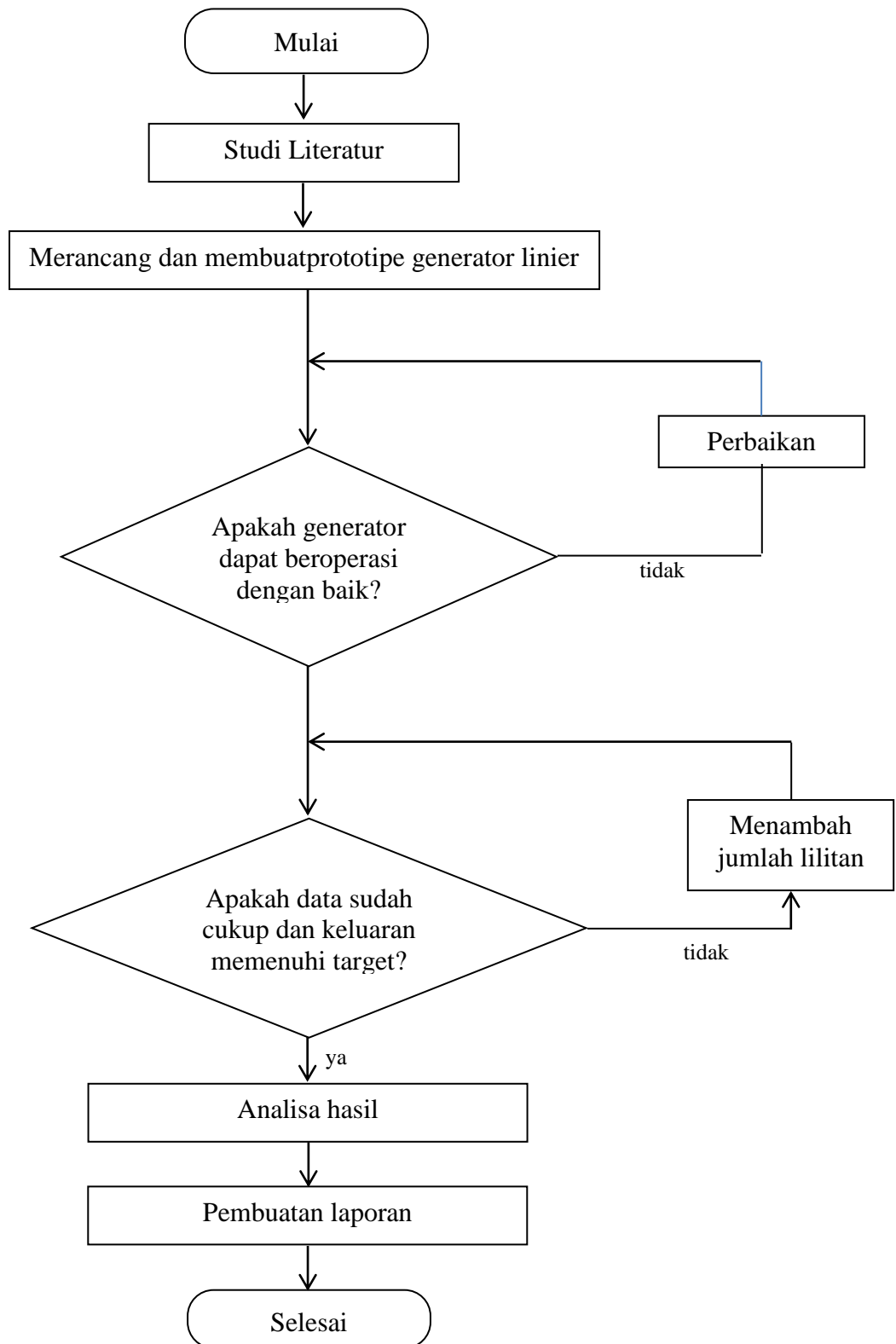
Langkah yang pertama dilakukan dalam penelitian ini yaitu studi literatur. Studi Literatur dilakukan dengan mengumpulkan data yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Data yang dikumpulkan berupa buku, jurnal ilmiah, karya-karya ilmiah, media cetak maupun elektronik (internet) yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam penelitian. Data-data yang didapat dari studi literatur digunakan sebagai dasar dari penelitian yang akan dilakukan.

Perancangan alat dilakukan dengan pendesainan generator linier terlebih dahulu. Pendesainan generator didasarkan pada perhitungan-perhitungan matematis yang didapat dari dasar acuan pembuatan generator. Perancangan alat ini dilakukan dengan perhitungan yang matang agar hasil yang didapat dari keluaran alat sesuai dengan target yang diharapkan.

Pembuatan alat dilakukan dengan mengumpulkan terlebih dahulu peralatan dan bahan yang dibutuhkan sesuai desain yang dibuat. Pada pembuatan alat ini dilakukan dengan teliti dan presisi agar alat yang dibuat dapat sesuai dengan desain dan menghasilkan keluaran sesuai dengan perencanaan.

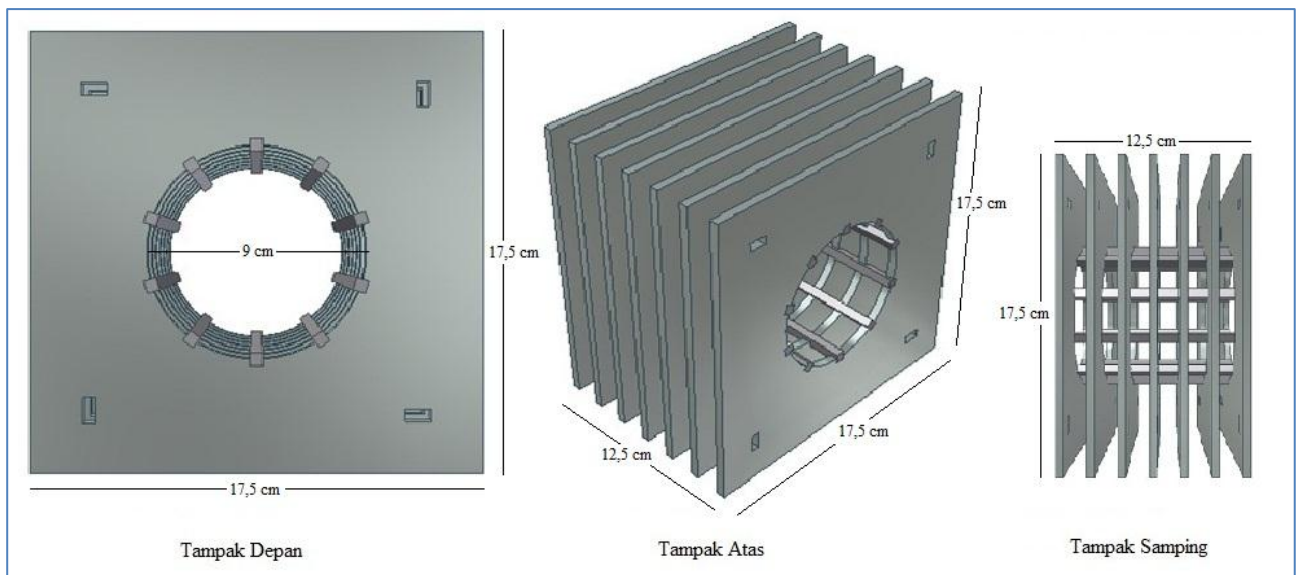
Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui hasil dari alat yang telah dibuat. Dalam pengujian dibandingkan hasil yang didapat dari penelitian dengan target yang ingin dicapai, apabila belum mencapai target yang diinginkan maka dilakukan perbaikan alat sampai didapat hasil yang diinginkan. Pengujian dilakukan dengan tanpa beban dan dengan beban 5 buah lampu led 100mW yang dirangkai paralel untuk mengetahui daya keluaran.

Analisa data dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperoleh dari pengujian untuk dibandingkan dengan data yang diperoleh dari studi literatur. Hasil yang dianalisa harus sesuai dengan data yang didapat dari pengujian alat. Tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada flowchart penelitian.

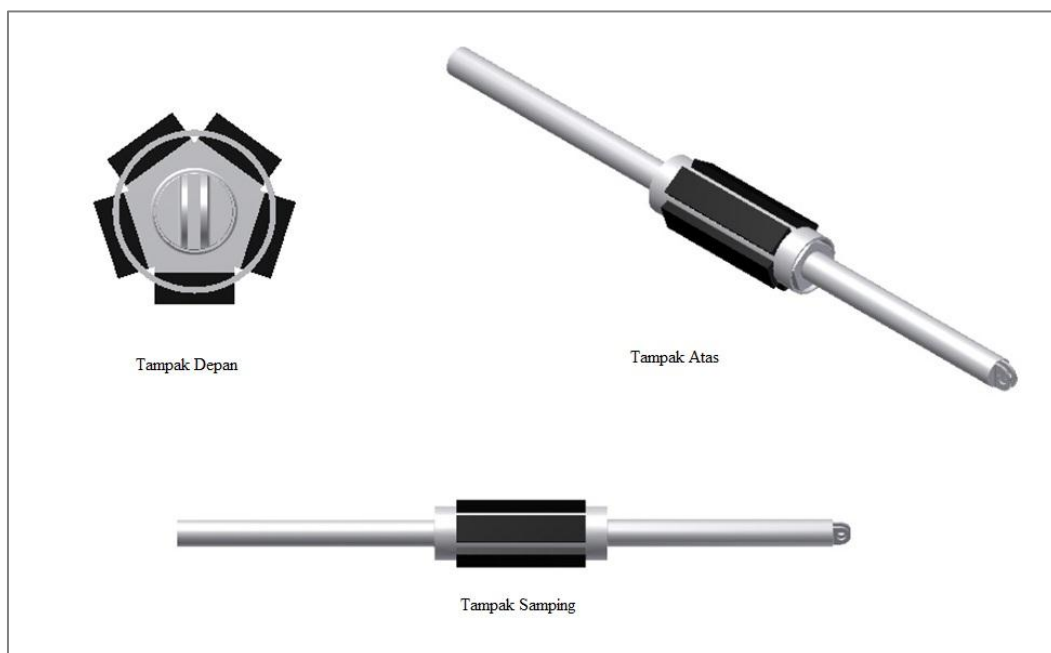


Gambar 1. Flowchart Penelitian

Pembuatan generator linier ini menggunakan stator dan rotor yang berbeda dengan generator model radial maupun axial. Desain stator menggunakan akrilik ukuran 50 mm yang didesain menjadi sebuah frame stator dengan 6 slot. Lilitan tembaga (email) yang digunakan sebagai belitan stator menggunakan kawat email jenis jerman dengan ukuran 0,4 mm. Kawat jenis jerman memiliki kelebihan lebih fleksibel namun kuat. Kawat jenis ini memberikan kemudahan dalam pembuatan belitan stator. Rotor menggunakan 10 buah magnet permanen jenis ferit yang dibagi menjadi 5 pasang dan disusun melingkari as rotor. Beban yang akan digunakan untuk keperluan pengujian menggunakan lampu led dengan daya 100 mW.



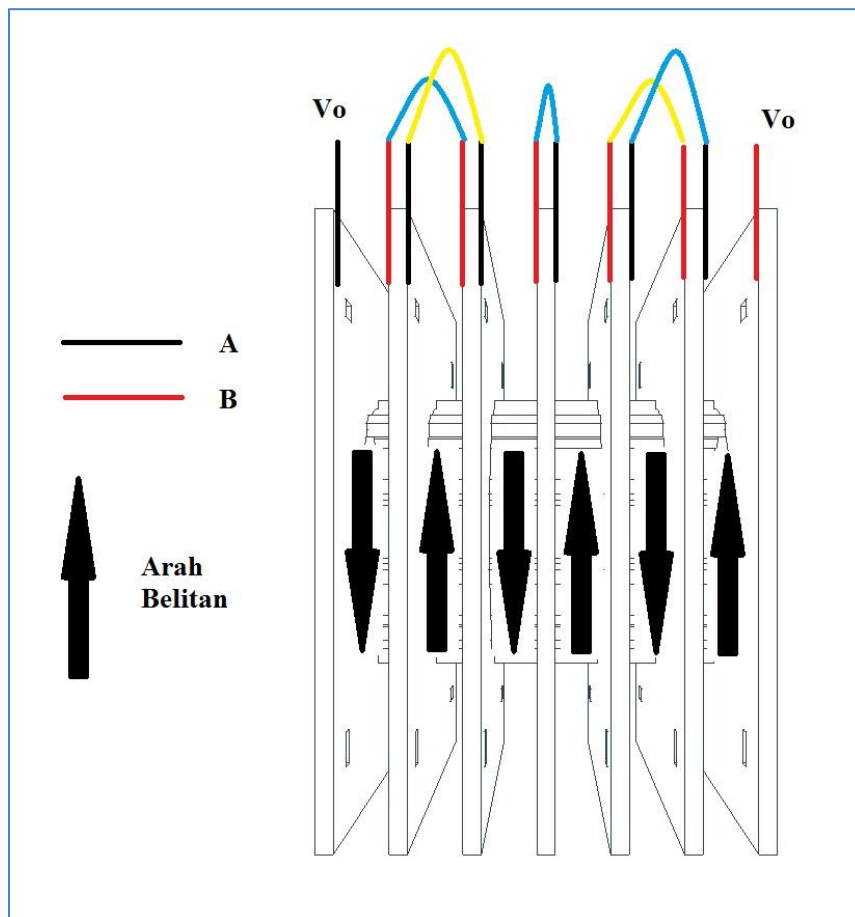
Gambar 2. Desain Stator



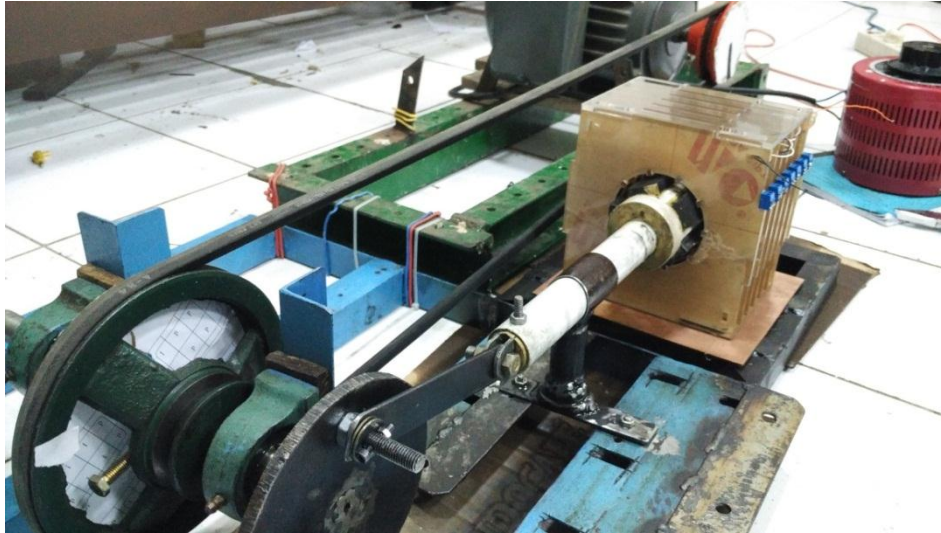
Gambar 3. Desain Rotor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh desain dan jumlah belitan pada stator terhadap keluaran generator. Proses pelilitan stator dilakukan manual dengan jumlah belitan 200, 300, 400 dan 500 belitan. Arah belitan dibuat searah jarum jam pada satu belitan kemudian dibelit ke arah sebaliknya pada belitan setelahnya. Penyambungan antara belitan satu dengan belitan lain dilakukan dengan mencoba satu persatu satu belitan dengan belitan sebelahnya untuk mencari nilai tegangan tertinggi. Desain arah lilitan dan penyambungan belitan dapat dilihat di Gambar 4. Pada gambar 4, garis A (warna hitam) menunjukkan kabel masuk (ujung 1) pada belitan dan garis B (warna merah) menunjukkan kabel keluar (ujung 2) pada belitan. Tanda panah menunjukkan arah belitan. Tanda panah ke bawah menunjukkan belitan searah jarum jam, sedangkan tanda panah ke atas menunjukkan arah belitan berlawanan arah jarum jam.



Gambar 4. Desain Arah Putaran dan Cara Penyambungan Belitan



Gambar 5. Generator linier

Generator linier ini menggunakan sebuah motor sebagai penggerak untuk keperluan pengujian. Motor digunakan sebagai pengganti gelombang air laut dalam penerapan nyata generator linier. Motor akan dihubungkan ke roda piston yang akan mengkonversi gerakan berputar motor menjadi gerakan maju mundur pada rotor generator linier sehingga magnet pada rotor dapat memotong medan magnet pada stator sehingga menimbulkan tegangan listrik pada belitan. Pengujian generator dilakukan dengan menggerakkan rotor dengan kecepatan 100-300 rpm dengan kenaikan 25 rpm pada setiap variabel belitan. Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan persamaan $E_{rms} = 4,44 \times N \times f \times \Phi_{max} \times \frac{N_s}{N_{ph}}$ sebagai dasar referensi apabila akan dilakukan penelitian lanjutan. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan generator tanpa beban untuk mendapatkan tegangan keluaran maksimal dan dengan beban 5 buah led yang dihubungkan paralel untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan generator. Dari pengujian dengan variabel 200-500 belitan dan kecepatan mulai 100-300 rpm didapat data sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian 200 Belitan tanpa Beban

rpm	Tegangan (V)	
	Perhitungan	Pengujian
100	1,20	2,1
125	1,50	2,3
150	1,81	2,4
175	2,11	2,6
200	2,41	2,9
225	2,71	3,1
250	3,01	3,3
275	3,31	3,6
300	3,61	4,1

Tabel 2. Pengujian 200 Belitan dengan Beban

rpm	V (V)	I (mA)	P (mW)
100	2,1	0,6	1,26
125	2,2	2	4,4
150	2,3	4	9,2
175	2,37	5	11,85
200	2,4	7	16,8
225	2,47	8	19,76
250	2,5	11	27,5
275	2,53	13	32,89
300	2,6	16	41,6

Tabel 3. Pengujian 300 Belitan tanpa Beban

rpm	Tegangan (V)	
	Perhitungan	Pengujian
100	1,81	3,1
125	2,26	3,4
150	2,71	3,7
175	3,16	4
200	3,61	4,4
225	4,06	4,7
250	4,51	5
275	4,96	5,4
300	5,42	5,6

Tabel 4. Pengujian 300 Belitan dengan Beban

rpm	V (V)	I (mA)	P (mW)
100	2,5	2	5
125	2,8	4	11,2
150	3,2	4	12,8
175	3,3	6	19,8
200	3,5	9	31,5
225	3,8	14	53,2
250	4,1	17	69,7
275	4,3	17	73,1
300	4,3	20	86

Tabel 5. Pengujian 400 Belitan tanpa Beban

rpm	Tegangan (V)	
	Perhitungan	Pengujian
100	2,41	4,5
125	3,01	4,8
150	3,61	5
175	4,21	5,5
200	4,81	5,7
225	5,42	6
250	6,02	6,4
275	6,62	7
300	7,22	7,2

Tabel 6. Pengujian 400 Belitan dengan Beban

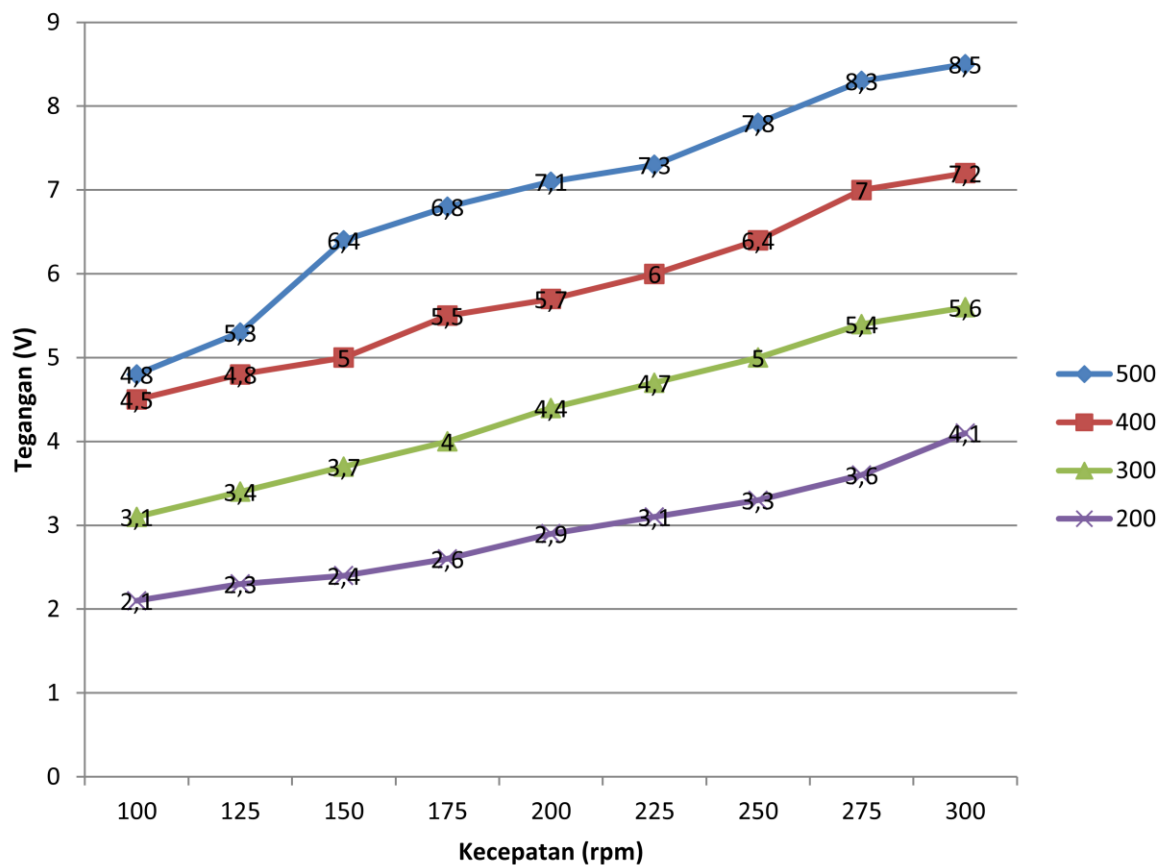
rpm	V (V)	I (mA)	P (mW)
100	3	5	15
125	3,5	7	24,5
150	3,8	9	34,2
175	3,9	10	39
200	4	15	60
225	4,2	17	71,4
250	4,4	20	88
275	4,9	21	102,9
300	5,1	22	112,2

Tabel 7. Pengujian 500 Belitan tanpa Beban

rpm	Tegangan (V)	
	Perhitungan	Pengujian
100	3,01	4,8
125	3,76	5,3
150	4,51	6,4
175	5,27	6,8
200	6,02	7,1
225	6,77	7,3
250	7,52	7,8
275	8,27	8,3
300	9,03	8,5

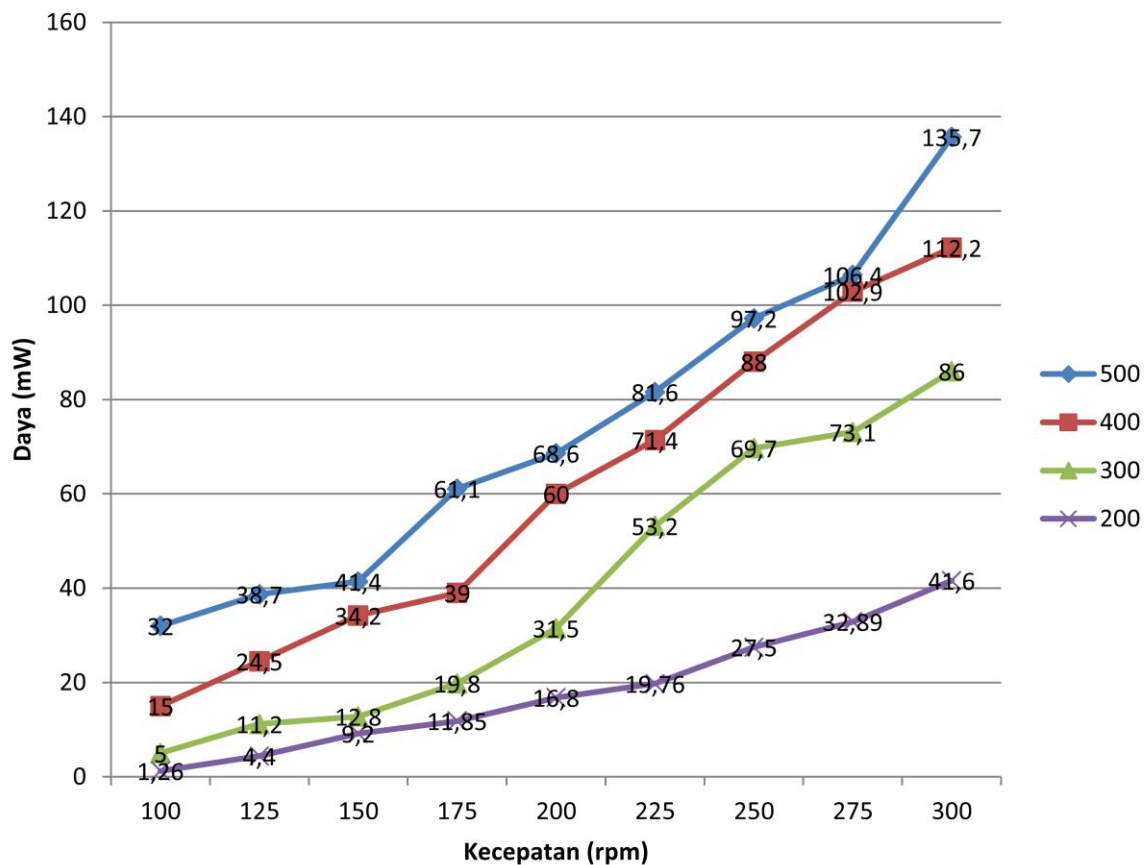
Tabel 8. Pengujian 500 Belitan dengan Beban

rpm	V (V)	I (mA)	P (mW)
100	4	8	32
125	4,3	9	38,7
150	4,6	9	41,4
175	4,7	13	61,1
200	4,9	14	68,6
225	5,1	16	81,6
250	5,4	18	97,2
275	5,6	19	106,4
300	5,9	23	135,7



Gambar 6. Grafik tegangan hasil pengujian tanpa beban

Dari tabel dan grafik hasil pengujian generator tanpa beban yang ditunjukkan pada Gambar 6, dapat dilihat tegangan mengalami kenaikan berbanding lurus dengan kecepatan putar motor yang digunakan. Tegangan terendah didapat ketika menggunakan jumlah belitan 200 pada kecepatan 100 rpm yaitu 2,1v. Ketika kecepatan ditambah dengan kenaikan 25 rpm untuk setiap data yang diambil, tegangan terus mengalami kenaikan nilai. Kenaikan paling signifikan terlihat ketika pengujian menggunakan 500 belitan, tegangan terendah 4,8v namun ketika kecepatan dinaikkan hingga 300 rpm tegangan mampu mencapai 8,5v. Generator linier ini mengalami kenaikan tegangan rata-rata 7% untuk setiap kenaikan kecepatan pada pengujian tanpa beban.



Gambar 7. Grafik daya hasil pengujian dengan beban

Dari grafik hasil pengujian generator linier yang ditunjukkan pada gambar 7, dengan beban 5 buah led 5 mm berdaya 100 mW yang dihubung paralel, didapat daya yang selalu mengalami kenaikan sebanding dengan kecepatan rotor. Pada percobaan dengan jumlah belitan stator 200 belitan, hanya mampu menghasilkan daya yang sangat kecil hanya sekitar 1,6 mW pada kecepatan 100 rpm. Namun, seiring dengan penambahan kecepatan, daya yang dicapai mampu mencapai 41,6 mW pada 200 belitan dengan kecepatan 300 rpm. Dengan penambahan 100 belitan stator menjadi 300 belitan, generator mampu menghasilkan daya 2 kali lebih besar dari stator dengan 200 belitan, dari yang semula 41,6 mW mampu mencapai 86 mW pada kecepatan 300 rpm. Nilai daya terus naik sebanding dengan penambahan jumlah belitan pada stator hingga mencapai nilai tertinggi 135,7 mW dengan jumlah belitan 500 belitan pada kecepatan 500 rpm. Dari tabel pengujian dengan beban, didapat nilai tegangan yang lebih rendah dari pengujian tanpa beban dengan kecepatan dan jumlah belitan yang sama. Hal ini disebabkan sebagian tegangan yang dihasilkan mengalami loses tegangan pada beban.

Pada generator radial maupun axial, penambahan beban ketika generator sedang aktif biasanya mempengaruhi kecepatan putaran generator yang berdampak pada berkurangnya frekuensi gelombang tegangan yang dihasilkan generator. Hal ini dikarenakan beban yang dilayani generator menghasilkan arus yang melewati belitan stator dan menghasilkan medan magnet yang arahnya berlawanan dengan medan magnet putaran rotor sehingga menyebabkan putaran rotor menjadi tertahan. Namun, pada penelitian yang dilakukan menggunakan generator linier ini, pemberian beban yang dilakukan ketika generator beroperasi, tidak mempengaruhi kecepatan rotor. Hal ini disebabkan oleh beban yang diberikan pada generator terlalu kecil sehingga arus yang mengalir pada belitan stator tidak menimbulkan medan magnet yang mampu mempengaruhi kecepatan rotor.

4. PENUTUP

Pada generator linier keluaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa variabel. Variabel yang mempengaruhi keluaran generator linier antara lain jumlah belitan, jenis magnet, celah udara, kecepatan rotor, jumlah kutub magnet dan beberapa variabel lain. Jumlah belitan magnet mempengaruhi tegangan, arus dan daya yang mampu dihasilkan generator linier. Semakin banyak jumlah belitan, maka semakin besar pula tegangan, arus dan daya yang mampu dihasilkan generator linier.

Generator linier dengan desain seperti pada penelitian ini, menghasilkan tegangan minimal 2,1 v pada jumlah belitan 200 dan kecepatan 100 rpm dan mampu mencapai nilai 8,5 v pada jumlah belitan 500 dan kecepatan 300 rpm. Nilai tegangan mengalami kenaikan rata-rata sebesar 21% untuk setiap kenaikan 100 belitan pada rpm yang sama untuk pengukuran tanpa beban. Daya yang dihasilkan generator linier ini sebesar 1,26 mW pada jumlah belitan 200 dan kecepatan 100 rpm. Daya mengalami kenaikan berbanding lurus dengan penambahan jumlah belitan hingga mencapai 135,7 mW pada jumlah belitan 500 dan kecepatan 300 rpm. Daya mengalami kenaikan rata-rata sebesar 31% untuk setiap penambahan 100 belitan pada kecepatan yang sama.

Pada pengujian generator yang dilakukan, pembebanan tidak mempengaruhi nilai kecepatan rotor dan nilai frekuensi. Namun, masih diperlukan pengujian dengan skala yang lebih besar untuk mengetahui pengaruh pembebanan yang lebih besar terhadap kecepatan dan frekuensi yang dihasilkan generator linier. Untuk menghasilkan keluaran generator linier yang lebih besar, perlu menggunakan jumlah lilitan yang lebih besar, magnet dengan kekuatan medan magnet lebih besar, desain mekanis yang mantap yang mampu digunakan untuk pengujian dengan kecepatan tinggi, dan memperkecil celah udara magnet dan belitan stator.

PERSANTUNAN

Selama penyusunan tugas akhir ini penulis mendapat dukungan, dan saran serta bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan rasa terima kasih sebesar – besarnya kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta dan seluruh keluarga terima kasih atas semangat, nasihat dan doanya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Umar, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Hasyim Asy'ari S.T., M.T. selaku Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen atas kesediannya membimbing dan memberikan waktunya kepada penulis selama belajar di Teknik Elektro.
6. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro 2012 semoga kekeluargaan ini tetap terjaga selalu.
7. Prodi Teknik Elektro melalui Program Penelitian RPPS yang telah membantu terselesaikannya penelitian ini.
8. Seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, Hasyim, Jatmiko, and Azis Ardiyatmoko. 2012. "Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk." *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2012(Snati)*: 15–16.
- Grover, Mayank, B Lohith Kumar, and Isaac Ramalla. 2014. "The Free Energy Generator." *International Journal of Scientific and Research Publications* 4(12): 4–7.
- Hsiao, Chun-Yu, Sheng-Nian Yeh, and Jonq-Chin Hwang. 2014. "Design of High Performance Permanent-Magnet Synchronous Wind Generators." *Energies* 7(11): 7105–24.
- Nugroho, Wahyudianto Bagus, Indra Ranu Kusuma, and Sardono Sarwitto. 2014. "Kajian Teknis Gejala Magnetisasi Pada Linear Generator Untuk Alternatif Pembangkit Listrik." *Jurnal Teknik Pomits* 3(1): 95–98.
- Polinder, H, M a Mueller, M Scuotto, and M Goden De Sousa Prado. 2007. "Linear Generator Systems for Wave Energy Conversion." *European Wave and Tidal Energy Conference*: 1–8.
- Sharma, Phawan, T.S. Batthi, And K.S.S. Ramakrishnan. 2011. "Permanent-Magnet Induction Generators : An Overview 2 . Classification of Permanent-Magnet Machines." *Journal of Engineering Science and Technology* 6(3): 332–38.
- Singh, Himank Pratap et al. 2015. "Free Energy Generator." *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)* 2(1): 1–5.